

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-014959

(43)Date of publication of application : 19.01.2001

(51)Int.Cl.

H01B 12/08

(21)Application number : 11-181657

(71)Applicant : HITACHI CABLE LTD

(22)Date of filing : 28.06.1999

(72)Inventor : HOSONO FUMIKAZU

KIKUCHI KENICHI

INABA SHOJI

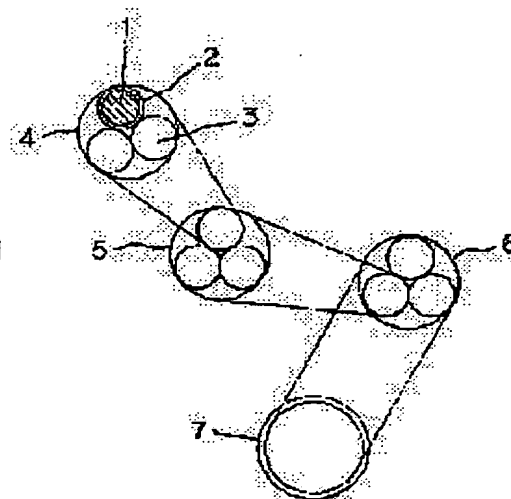
MORIAI HIDESUMI

(54) ALUMINUM STABILIZES SUPERCONDUCTING CONDUCTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a superconducting conductor that is electrically stable and has high mechanical strength, by arranging, in a metal pipe, a superconducting wire rod material in which a super-conductive filament is embedded in a matrix made of copper or copper alloy and a strand of an aluminum wire rod.

SOLUTION: This conductor comprises a metal pipe 7 with circular cross section and a superconducting strand 6 arranged in the metal pipe 7. The super-conductive strand 6 comprises three twisted super-conductive strands 5 formed by twisting three strands 4 comprising two superconducting wire rod materials 3 embedded a super-conductive filament in a copper matrix and one aluminum wire rod 1 coated with Cu-Ni alloy coating 2. The aluminum material has a 4N or higher level, and is preferably aluminum group alloy containing 10-100 ppm Mg, or 20-100 ppm Mg and Cu, or aluminum group alloy containing 10-120 ppm Si and Cu. The metal pipe is SUS base, Ti base, or incoloy, and the superconductor is alloy or compound of Nb-Ti base, Nb₃Sn base, or Nb₃Al.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-14959

(P2001-14959A)

(43)公開日 平成13年1月19日(2001.1.19)

(51)Int.Cl.⁷

H 0 1 B 12/08

識別記号

Z A A

F I

H 0 1 B 12/08

データベース(参考)

Z A A 5 G 3 2 1

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平11-181657

(22)出願日 平成11年6月28日(1999.6.28)

(71)出願人 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区大手町一丁目6番1号

(72)発明者 細野 史一

茨城県土浦市木田余町3550番地 日立電線

株式会社土浦工場内

(72)発明者 菊地 賢一

茨城県土浦市木田余町3550番地 日立電線

株式会社土浦工場内

(72)発明者 稲葉 彰可

茨城県土浦市木田余町3550番地 日立電線

株式会社土浦工場内

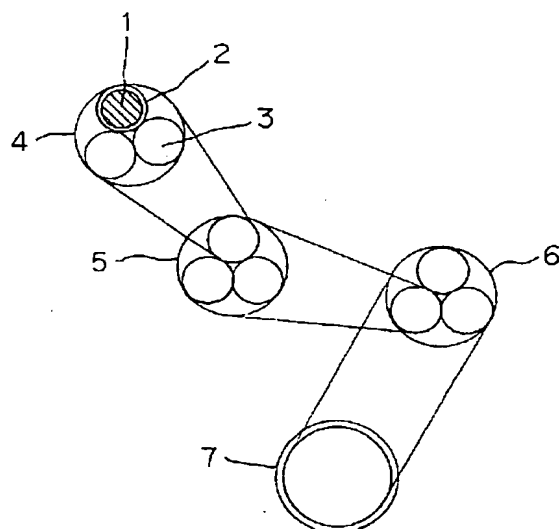
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 アルミニウム安定化超電導導体

(57)【要約】

【課題】極低温(例えば液体ヘリウム温度4.2K)において導体の安定化が図れると共に、高安定化及び高強度化を図ることのできる超電導導体を提供する。

【解決手段】安定化材としてアルミニウム線材を用い、それを超電導線材と共に燃合せて金属管内に配置する。アルミニウム線材としては、アルミニウム材をCu-Ni合金で被覆及び/又は分割した形の線材が好ましい。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】銅又は銅合金のマトリックス中に超電導フィラメントが埋設された超電導線材とアルミニウム線材との燃線を金属管中に配置してなることを特徴とするアルミニウム安定化超電導体。

【請求項 2】燃線が少なくとも 1 本のアルミニウム線材と複数本の超電導線材との燃線の複数を燃り合わせてなるものである請求項 1 に記載の導体。

【請求項 3】燃線がアルミニウム線材と超電導線材の層が交互に配置された燃線の複数を燃り合せたものである請求項 1 に記載の導体。

【請求項 4】アルミニウム線材が表面に Cu-Ni 合金の被覆を有するものである請求項 1、2 又は 3 に記載の導体。

【請求項 5】アルミニウム線材が横断面において Cu-0.5~20 重量% Ni 合金により分割されているものである請求項 1、2 又は 3 に記載の導体。

【請求項 6】アルミニウム線材のアルミニウム材が 10~100 ppm の Mg、和にして 20~100 ppm の Mg と Cu 又は和にして 10~120 ppm の Si と Cu を含むアルミニウム基合金である請求項 1~5 の何れかに記載の導体。

【請求項 7】Al-Mg-Cu 合金における Mg と Cu の量が夫々 10 ppm 以上である請求項 6 に記載の導体。

【請求項 8】Al-Si-Cu 合金における Si と Cu の少なくとも一方の含有量が 50 ppm 未満である請求項 6 に記載の導体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、機械的強度並びに電気的安定性に優れた超電導マグネットに適した超電導体に関するものである。

【0002】

【従来の技術】超電導体としては、銅安定化超電導線の燃線を Cu-Ni 合金製の門型材に半田で埋め込んだものや、銅安定化超電導線を銅線と燃合せたものを複数燃合せたものが知られており、一般的なアルミニウム安定化導体としては燃線をアルミニウムで被覆したものが知られている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】前者の場合、安定化材に銅を用いているため、高い安定性を確保するためには銅の割合が多くならざるを得ず、導体安定性が低くなる。また、後者の場合、導体の大電流化或いはコイルの大型化に当たっては機械的に強固な材料を含んでいないため、導体強度が小さく巨大な電磁力に耐えることができない。

【0004】本発明の目的は、極低温（例えば液体ヘリウム温度 4.2 K）において銅と比較して比抵抗の小さいアルミニウム又はアルミニウム合金を用いることで導

体の安定化及び高強度化を図り、新規な超電導体を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、本発明では安定化材としてアルミニウム線材を用い、それを超電導線材と共に燃合せて金属管内に配置したことを特徴としている。

【0006】この場合、アルミニウム材としては 4N（99.99%以上）レベル以上のアルミニウムは勿論のこと、10~100 ppm の Mg 又は Mg と Cu を 20~100 ppm 含むアルミニウム基合金、Si と Cu を 10~120 ppm 含むアルミニウム合金等からなるものが線材の形で用いられるが、交流損失の低減を図る目的や燃線時の変形を少なくしたりするためにはアルミニウム材を Cu-Ni 合金、好ましくは Ni 濃度が 0.5~20 重量%程度の Cu-Ni 合金で被覆及び／又は分割した形の線材とすることが好ましい。

【0007】また、燃線としては同心燃り、集合燃り又はそれらを素線とした複合燃り等があるが、同心燃りの場合はアルミニウム線材と超電導線材の層を交互に配置した構成が好ましく、複合燃りの場合は 1 本又は複数本のアルミニウム線材と複数本の超電導線材とを燃り合わせたものを燃り合わせた構成とすることが好ましい。

【0008】また、金属管としては SUS 系、Ti 系、インコイ等からなるもので、断面は円形、矩形何れであってもよく、それらはシームレスであってもよいが、長尺な導体を得るためには燃線を包囲した形で端縁を溶接して形成できるシームパイプであってもよい。

【0009】なお、超電導材としては Nb-Ti 系、Nb, Sn 系、(NbTi), Sn 系、Nb, Al 系等の合金系や化合物系の超電導材を用いることができ、何れも同様の効果を得ることができる。

【0010】

【発明の実施の形態】以下に、具体例をあげながら本発明に係る超電導体を説明する。

【0011】図 1 は本発明に係る超電導体の一例を示す説明図で、この導体は断面円形の金属管 7 と、該金属管 7 内に配置された超電導燃線 6 とからなり、超電導燃線 6 は銅マトリックス中に超電導フィラメントが埋設された 2 本の超電導線材 3 と、Cu-Ni 合金の被覆 2 が施された 1 本のアルミニウム線材 1 からなる燃線 4 を 3 本燃り合わせた燃線 5 を、更に 3 本燃り合わせたものから構成されている。

【0012】【実施例 1】外径φ76mm、肉厚 5.0mm、長さ 380mm の無酸素銅製の管に断面六角形に対辺長が 2.15mm、長さ 350mm の銅マトリックス NbTi 超電導線材を 745 本充填してビレットとし、それを静水圧押し出にて押し出した後、3 回の時効処理と伸線加工によって直径 0.9mm の超電導線材を製作した。一方、Si と Cu を夫々 20 ppm 添加したアルミニウムのビレ

ットを用意し、それを押出加工して線材とした後、そのアルミニウム合金線を伸線した後約400℃で2時間焼鈍し、このサイズから断面減少率約15%の冷間加工を施して直径0.84mmの線材とした。ただし、このアルミニウム線材には、上がり外径にて厚さ10μmのCu-10重量%Ni合金からなる被覆を施した。

【0013】以上のように製造した各線材を2本の超電導線材と1本のアルミニウム線材を1単位とした燃線3本を撚り合わせ、更にその3本を撚り合せた後、その外周に厚さ0.025mm、幅20mmのSUS304製テープをラップ巻きした。次に、その超電導燃線に厚さ1.0mm、幅20mmのSUS304製板材を縦添えし、該SUS製板材をロールフォーミングにより断面円形に成形し、引き続き前記SUS304製板材の付き合わせ端縁をTIG溶接によって溶接し、最後に直径7mmに成形加工した。このときの板厚及び溶接部のボイド率は、夫々約1mm及び約40%であった。

【0014】図2は本発明に係る超電導導体の別の例を示す説明図である。この導体は断面矩形の金属管71と、該金属管71内に配置された超電導燃線61とからなり、超電導燃線61は第2層に超電導線材3を配置し、中心と外層にCu-Ni合金の被覆2が施されたアルミニウム線材1が配置された燃線51を4本撚り合わせたものから成っており、金属管71は断面正方形に形成されている。

【0015】【実施例2】超電導線材及びアルミニウム線材として実施例1で用いたものと同じものを用意し、中央に1本のアルミニウム線材、中間層に6本の超電導線材、最外層に13本のアルミニウム線材がくるように配置して同心撚りした後、その燃線を4子撚りの燃線とした。次に、得られた超電導燃線に実施例1と同様にしてSUS304製の溶接管を製造し、最後に該溶接管を外形寸法11mm×11mmに成形加工した。この時の板厚及びボイド率は、夫々1.5mm及び約40%であった。

【0016】実施例1及び実施例2で得られた超電導導体の安定性マージンの測定結果を、安定化材として銅線を用いた場合と比較して図3及び図4に示し、図5に安定性マージンの測定方法を示す。

【0017】図5において、導体に巻き付けられた誘導ヒータL。によって共振回路から発信される交流電流が流され、その際に発生する交流磁界によってサンプルに外部エネルギーが投入される。測定の条件は、温度4.2K、外部磁界8Tとした。超電導導体サンプルがクエンチしない限界の投入エネルギーを安定性マージンと呼び、通常、単位素線体積当たりのエネルギー量で表す。

【0018】図3及び図4の結果から、安定化材としてアルミニウム線を用いることにより銅線を用いた場合と比較して高い安定性を得られることが分かる。これは、部分的にクエンチした場合アルミニウムの方が熱伝導が良好であるため、銅線を用いた場合と比較して燃線内に

熱がこもりにくいことが起因するものと思われる。また、通電電流が大きくなるにしたがって銅線を用いた方が安定性マージンが著しく低下する理由は、ステックレーの制限電流値(I_{lim})によるもので、I_{lim}は次の式で表すことができる。

【0019】

$$I_{lim} = \rho \cdot I_{op} / (A \cdot P \cdot (T_c \cdot T_b))^{1/2}$$

ここで、 ρ [Ωm] : 極低温における安定化材の比抵抗

I_{op} [A] : 運転電流値

A [m²] : 安定化材の断面積

P [m] : 冷却周長

T_c [K] : 臨界温度

T_b [K] : 冷媒温度

制限電流値が通電電流値より大きい場合にはあまり影響を与えないが、制限電流値以上で導体に通電する場合、極端に安定性マージンが低下することが知られている。図3において、銅線を用いた場合とアルミニウム線を用いた場合の制限電流値を前記の式から算出すると、1.1kA及び1.6kAとなり、図3に示す挙動と一致する。

【0020】一方、低比抵抗材を用いると、逆に交流損失(渦電流損失及び素線間結合損失)が増大する。一般にこれらの損失量は、損失時定数に比例し時定数が大きいほど損失量も大きくなる。損失時定数(τ_c)は次の式で表すことができる。

$$【0021】\tau_c = \mu_0 (L/2\pi)^2 / (4\pi \cdot \rho)$$

ここで、L [m] : 撚ピッチ

μ₀ [-] : 真空の透磁率

ρ [Ωm] : 燃線の等価横抵抗

そこで、交流損失の低減を図るために前記実施例ではアルミニウム線材の表面にCu-Ni合金の被覆が施されている。

【0022】等価横抵抗(ρ)は次の式で表すことができる。

$$【0023】\rho = (L_{CuNi} \cdot \rho_{CuNi} \times 2 + L_{Al} \cdot \rho_{Al}) / (L_{CuNi} + L_{Al})$$

ここで、L_{CuNi} [m] : Cu-Ni合金層の厚さ

L_{Al} [m] : アルミニウム部の径又は幅

ρ_{CuNi} [Ωm] : Cu-Ni合金の比抵抗

ρ_{Al} [Ωm] : アルミニウム合金の比抵抗

Cu-Ni合金及びアルミニウムの比抵抗は、夫々10⁻⁸Ωm及び1×10⁻¹⁰Ωm以下のオーダーであるため、Cu-Ni合金を表面に被覆することでアルミニウム線単独の結合損失の低減には有効である。また、素線間においては表面のCu-Ni合金被覆と高強度アルミニウム合金を用いることで、アルミニウムだけの場合と比較して変形抵抗が大きくなり、撚り合せ時の変形が受けにくくなる。即ち、素線間の接触面積が増大しないため素線間の接触抵抗が大きくなり、その結果として交流損失が増大しなくなる。

【0024】図6に交流損失の測定方法を示す。測定サンプル11となる超電導線線をコイル状に巻き線して外側にバックアップコイル15を、内側にキャンセルコイル14をセットしてバックアップ磁界を変動させることによって誘発される電圧をピックアップコイル13にて検出し、それを積分器18にて磁束変換して結合損失を求める。なお、図6中11は電源、16はシャント抵抗、17はアンプ、19はレコーダを示す。測定条件は、温度4.2 Kにて磁界振幅を1 Tとして行った。その値から次式を用いて損失時定数を求めた。

【0025】

$$Q_c = B_m^2 / 2 \mu_o [\tau_c / (\tau_c + \tau_p)]$$

ここで、 Q_c [J] : 結合損失

* B_m [T] : 最大磁界

μ_o [-] : 真空の透磁率

τ_c [S] : 線材の損失時定数

τ_p [S] : バックグラウンド磁界の遮断時定数

実施例1及び実施例2による導体の交流損失（結合損失及び渦電流損失）の結果を、比較例として安定化材に銅線を用いた場合と比較して表1に示したが、ほぼ同等の結果が得られた。なお、大きな交流損失であっても許容される導体の場合、アルミニウム線の表面被覆はなくてもよいことになる。

【0026】

【表1】

		m J / cc strand
実施例 1	発明導体	540
	比較導体	490
実施例 2	発明導体	780
	比較導体	770

【0027】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明に係る超電導体によれば、安定化材としてアルミニウム材を用いているため、導体の軽量化が図れると共に導体の高安定化及び高強度化を図ることができるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る超電導導体の実施態様を示す説明図である。

【図2】本発明に係る超電導導体の別の実施態様を示す説明図である。

【図3】実施例1における導体の安定性マージンの測定※

20※結果を示すグラフである。

【図4】実施例2における導体の安定性マージンの測定結果を示すグラフである。

【図5】安定性マージンの測定原理を示す図である。

【図6】交流損失の測定原理を示す図である。

【符号の説明】

1 アルミニウム線材

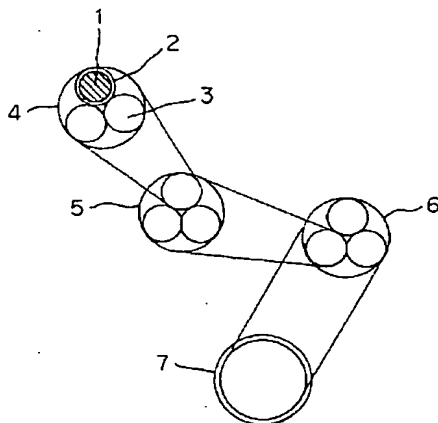
2 Cu-Ni合金の被覆

3 超電導線材

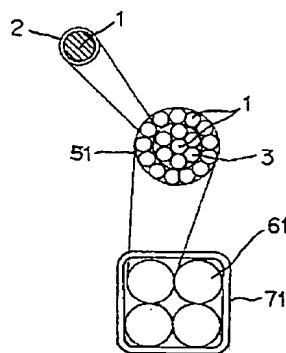
4、5、51、6、61 超電導燃線

30 7、71 金属管

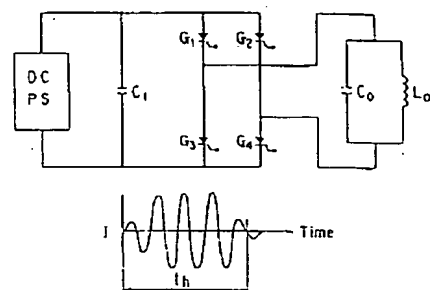
【図1】



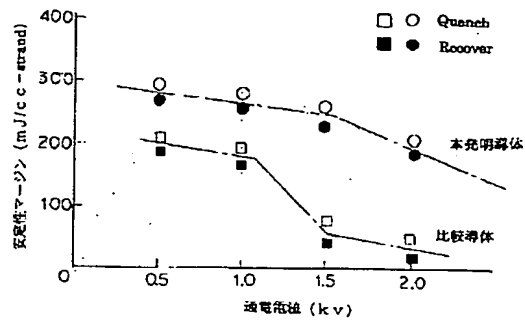
【図2】



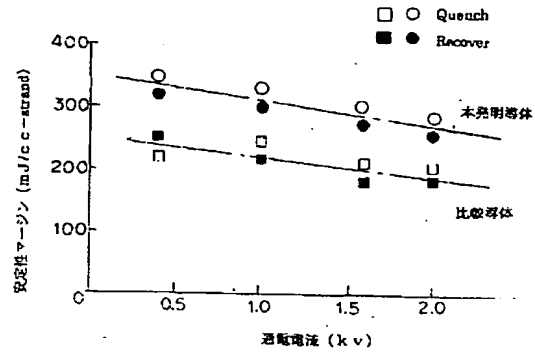
【図5】



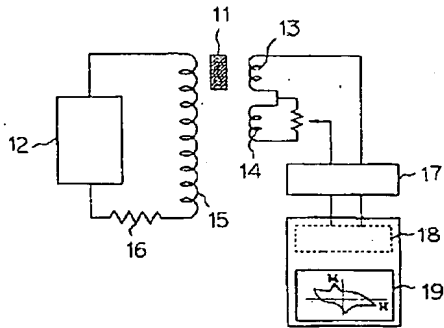
【図3】



【図4】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 森合 英純

茨城県土浦市木田余町3550番地 日立電線
株式会社システムマテリアル研究所内

Fターム(参考) 5G321 AA11 AA12 BA03 CA09 CA16

CA32 CA36 CA42